

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАЛЫХ ДОБАВОК ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ НАГРЕВЕ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АІ СПЛАВОВ**

***Рязанцева М.А.***

*Руководители – к.т.н. Солонин А.Н., проф., д.т.н. Портной В.К.*

НИТУ «МИСиС», Москва

[mariyaryaz@yandex.ru](mailto:mariyaryaz@yandex.ru)

В энергетике наблюдается интерес к термически стабильным алюминиевым сплавам, сочетающим высокую электропроводность и приемлемый уровень механических свойств при кратковременных нагревах до 250...300 °С.

Разупрочнение сплавов при кратковременных нагревах связано с протеканием рекристаллизации, поэтому необходимо, чтобы в составе сплавов для проводов присутствовали элементы, сдерживающие этот процесс, однако известно, что любое легирование значительно снижает электропроводность алюминия, поэтому все компоненты сплава должны вводиться в малых количествах.

Целью настоящей работы является исследование влияния легирующих элементов на изменение механических свойств при нагреве и электропроводность малолегированных алюминиевых сплавов, а также проведение сравнительного анализа свойств этих сплавов по отношению к применяемому в настоящее время сплаву АВЕ.

Выбор легирующих элементов проводился на основании ранее полученных данных о влиянии различных добавок на электропроводность и механические свойства чистого алюминия. Среди элементов, образующих с алюминием твердый раствор, был выбран магний, поскольку этот элемент хорошо растворим в алюминии, обеспечивает большой прирост прочности (на каждый ат. % 30...40 МПа) [1], при этом сохраняются приемлемые значения электропроводности.

В качестве малых добавок выбраны 4 элемента: Fe, Ti, Zr, Mn, которые при нагреве под горячую обработку давлением образуют алюминиды, эффективно тормозящие рекристаллизацию. Также элементы, вводимые в малых количествах, не должны образовывать соединений с магнием, поскольку при этом снижается эффект твердорастворного упрочнения и упрочняющая способность образующихся алюминидов. Были исследованы сплавы следующих составов: Al-0,3 %Mg-0,1 %Cr, Al-0,3 %Mg-0,2 %Cr, Al-0,3 %Mg-0,18 %Zr, Al-0,3 %Mg-0,35 %Zr, Al-0,3 %Mg-0,1 %Ti, Al-0,3 %Mg-0,2 %Ti, Al-0,3 %Mg-0,1 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,2 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,6 %Fe и Al-0,3 %Mg-0,2 %Fe.

В энергетике в настоящее время применяется для изготовления проводов сплав АВЕ (Al-0,5 %Mg-0,5 %Si-0,5 %Fe), который является термически упрочняемым, однако для производства проводов сплав также применяется и в холоднокатаном состоянии, поэтому этот сплав был выбран в качестве объекта, с которым проводили сравнение исследуемых сплавов по свойствам и результатам испытаний.

На образцах, изготовленных из холоднокатаных листов толщиной 2 мм, измеряли твердость по Виккерсу, результаты измерений представлены в виде гистограммы распределения значений твердости (рисунок 1,а).

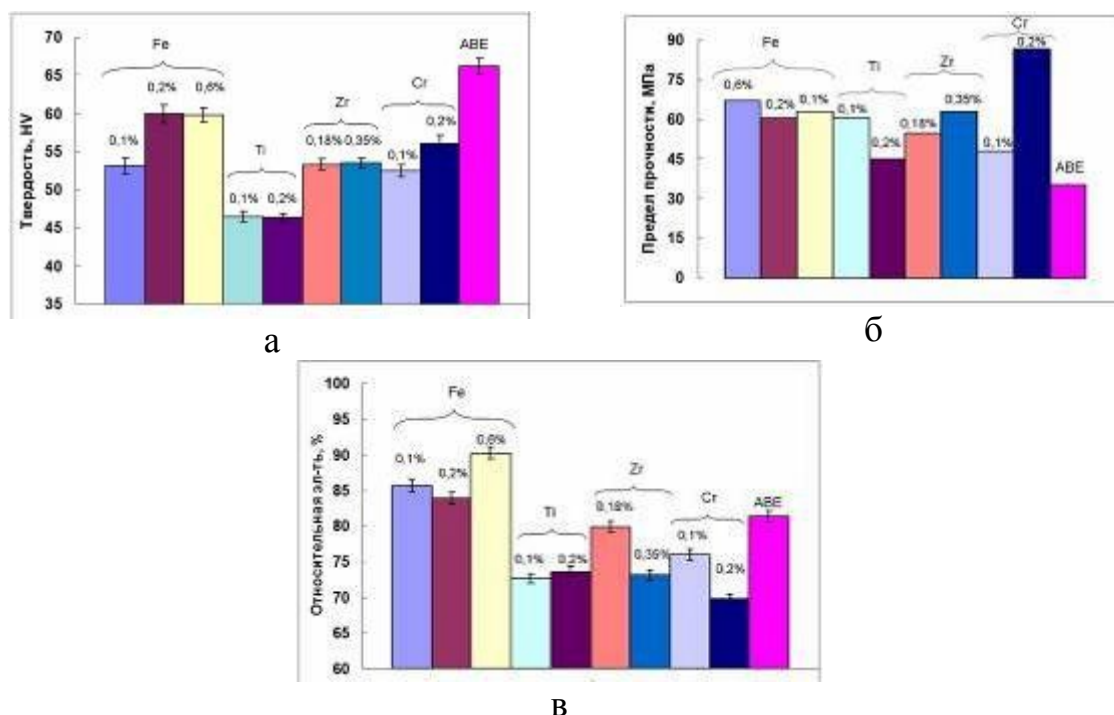


Рисунок 1:

- а – гистограмма распределения значений твердости образцов в холоднокатаном состоянии,
- б – гистограммы распределения значений предела прочности при испытаниях на одноосное растяжение при температуре 350 °С,
- в – гистограмма распределения значений электропроводности (относительно электропроводности алюминия А99)

Проводили сравнение поведения сплавов по результатам испытаний на одноосное растяжение при температуре 350 °С. Наибольший предел прочности у сплава Al-0,3 %Mg-0,2 %Cr (87 МПа, что в 2,5 раза выше, чем у АВЕ). Остальные сплавы обладают практически одинаковыми  $\sigma_B$  – 50...60 МПа. Это можно объяснить тем, что структура сплава, содержащего 0,2 % Cr является нерекристаллизованной за счет наличия

более устойчивых алюминидов Cr. Структура сплава с 0,35 % Zr является также нерекристаллизованной. Такое действие Cr и Zr изучено [2, 3], и они используются как элементы-антирекристаллизаторы во многих промышленных алюминиевых сплавах. Относительное удлинение сплавов находится в пределах 20...30 %, а АВЕ имеет относительное удлинение выше примерно в 1,5 раза, чем другие исследуемые сплавы. На рисунке 1, введена гистограмма распределения значений относительной электропроводности исследуемых сплавов. По сравнению с АВЕ сплавы Al-0,3 %Mg-0,1 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,2 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,6 %Fe имеют более высокую электропроводность (на 10 % выше по шкале относительной электропроводности), практически такой же как у АВЕ электропроводностью обладает сплав Al-0,3 %Mg-0,18 %Zr (порядка 75...80 %), а остальные сплавы имеют электропроводность на уровне 70 % по относительной шкале. Влияние концентрации легирующего элемента подчиняется общеизвестным закономерностям (с увеличением содержания циркония, титана электропроводность сплава резко снижалась).

#### Заключение

Наибольшими прочностными характеристиками при температуре 350 °С обладает сплав Al-0,3 %Mg-0,2 %Cr, предел прочности которого в 2,5 раза превышает предел прочности АВЕ. В сравнении с применяемым в настоящее время сплавом АВЕ сплавы Al-0,3 %Mg-0,1 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,2 %Fe, Al-0,3 %Mg-0,6 %Fe обладают более высокой электропроводностью (по относительной шкале на 10 % выше). По общему комплексу свойств наилучшими показателями обладают сплавы Al-Mg с малыми добавками железа: относительная электропроводность – 90 %, предел прочности при 350 °С – 50 МПа и твердость 60 HV.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

#### Список используемых источников:

1. Металловедение т.2. Термическая обработка. Сплавы/ И. И. Новиков, В. С. Золоторевский, В. К. Портной и др.- М.: МИСИС, 2009.
2. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов/ В.И.Елагин, Б.А. Колачев и др.- М.: МИСИС, 1999.
3. Н.А. Белов, А.Н. Алабин, А.Ю. Прохоров. Влияние добавки циркония на прочность и электросопротивление холоднокатаных алюминиевых листов // Известие вузов. Цветная металлургия, 4 (2009), с. 42-47.